

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-116087

(43)Date of publication of application : 19.04.2002

(51)Int.Cl.

G01J 9/00

G01K 11/12

G01L 1/24

(21)Application number : 2000-309324

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 10.10.2000

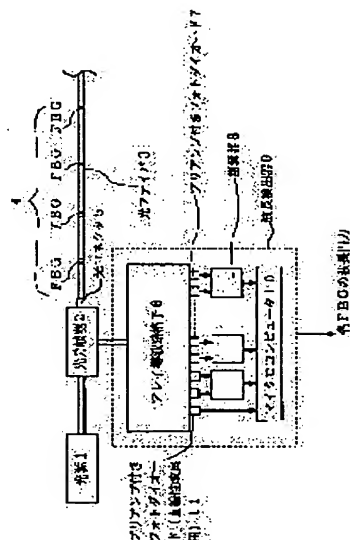
(72)Inventor : HIRAYAMA NORITOMO  
SANO YASUKAZU

## (54) WAVELENGTH-MEASURING APPARATUS

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the detection resolution and the detection accuracy for wavelengths.

SOLUTION: In a wavelength-measuring apparatus, a reflecting light from each FBG on an optical fiber is brought into an AWG in which a center wavelength can be separated to a plurality of wavelength of minute intervals. At the same time, light-receiving elements connected respectively to a plurality of output channels of the AWG are made corresponding to the FBG by every pair, so that the wavelength of the reflecting light measured on the basis of a logarithm of a ratio of output signals by the pair of the light-receiving elements. The apparatus is provided with an output channel for detecting a noise light which is set separately from the plurality of output channels of the AWG and, a light-receiving element connected to the output channel. The wavelength of the reflecting light is measured on the basis of a logarithm of a ratio of signals obtained by subtracting an error component by the output signal of the light-receiving element connected to the output channel for detecting the noise light from each of output signals of the pairing light-receiving elements corresponding to the FBG.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-116087

(P2002-116087A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 1 J 9/00		G 0 1 J 9/00	2 F 0 5 6
G 0 1 K 11/12		G 0 1 K 11/12	F
G 0 1 L 1/24		G 0 1 L 1/24	A

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-309324(P2000-309324)

(22) 出願日 平成12年10月10日 (2000. 10. 10)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 平山 紀友

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 佐野 安一

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(74) 代理人 100091281

弁理士 森田 雄一

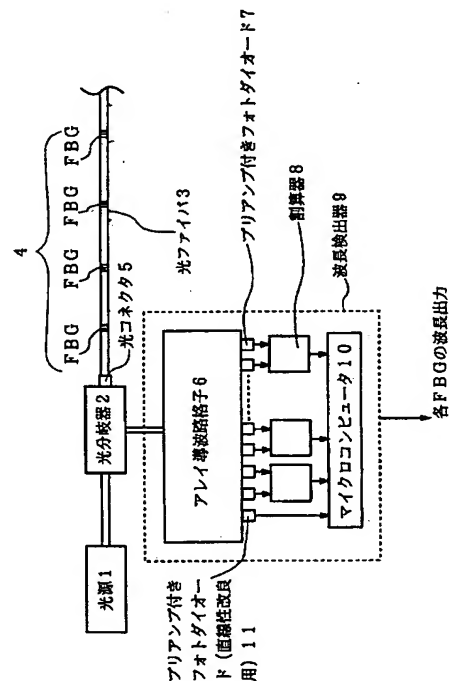
Fターム(参考) 2F056 VF02 VF12 VF16

(54) 【発明の名称】 波長計測装置

(57) 【要約】

【課題】 波長の検出分解能、検出精度を向上させる。

【解決手段】 光ファイバ上の各FBGからの反射光を、中心波長が微小な間隔の複数波長に分離可能なAWGに入射させるとともに、このAWGの複数の出力チャンネルにそれぞれ接続された受光素子を一対ごとにFBGに対応させ、一対の受光素子による出力信号の比の対数に基づいて反射光の波長を計測する波長計測装置に関する。前記AWGの複数の出力チャンネルとは別個に設けられたノイズ光検出出力チャンネルと、この出力チャンネルに接続された受光素子とを備え、前記FBGに対応した受光素子対の各々の出力信号から、前記ノイズ光検出出力チャンネルに接続された受光素子の出力信号による誤差成分を差し引いた信号の比の対数に基づいて、前記反射光の波長を計測する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 測定光が入射される光ファイバに一以上のブラッグ回折格子が形成され、各ブラッグ回折格子からの反射光の波長を検出して各ブラッグ回折格子の位置における物理量を測定するための波長計測装置であって、各ブラッグ回折格子からの反射光を、中心波長が微小な間隔の複数波長に分離可能なアレイ導波路格子に入射させるとともに、このアレイ導波路格子の複数の出力チャンネルにそれぞれ接続された受光素子を一對ごとに前記ブラッグ回折格子に対応させ、一對の受光素子による出力信号の比の対数に基づいて前記反射光の波長を計測するようにした波長計測装置において、前記アレイ導波路格子の複数の出力チャンネルとは別個に設けられたノイズ光検出出力チャンネルと、この出力チャンネルに接続された受光素子とを備え、前記各ブラッグ回折格子に対応した受光素子対の各々の出力信号から、前記ノイズ光検出出力チャンネルに接続された受光素子の出力信号による誤差成分を差し引いた信号の比の対数に基づいて、前記反射光の波長を計測することを特徴とする波長計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、測定点における温度や歪み（圧力）等の物理量を測定するために、測定点に形成された光ファイバのブラッグ回折格子（Fiber Bragg Grating：以下、FBGと略す）からの反射光の波長を計測する波長計測装置に関するものである。

\*

$$W = \log\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \log\left(\frac{\int_{\Delta\lambda} S_1(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda} S_2(\lambda) \phi(\lambda) d\lambda}\right)$$

【0005】ここで、 $I_1$ 、 $I_2$ は各ダイオード  $A_1C$ 、 $A_2C$  による光電流、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$  は各ダイオード  $A_1C$ 、 $A_2C$  の波長依存感度、 $\phi(\lambda)$  は照射光の波長依存強度分布、 $\Delta\lambda$  は照射光波長の半値全幅である。すなわち、 $\phi(\lambda)$  の波長依存強度分布を持つ照射光が  $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$  の波長依存感度を持つフォトダイオード  $A_1C$ 、 $A_2C$  に入射した場合、光センサの出力  $W$  は、各ダイオード  $A_1C$ 、 $A_2C$  につ

$$\lambda = a_0 \log(I_1/I_2) + a_1$$

【0007】なお、図 4 は上記原理に基づく波長測定システムの構成図であり、31 はレーザ光源、32 は回転式偏光プリズム、33 はビームスプリッタ、34 は前述の一對のフォトダイオード  $A_1C$ 、 $A_2C$  からなるダイオード装置、35 は光出力測定器、36 は上記数式 1、数式 2 を演算する演算器である。

【0008】更に、上記文献によれば、各ダイオードの波長感度がほぼ直線的であるような波長範囲（例えば、図 3 における約 600～約 900 nm 間の 300 nm の範囲）では、0.1 nm 以下の間隔で波長測定が可能で

10

20

## \*【0002】

【従来の技術】この種の発明として、本出願人による特開 2000-180270 号公報に記載された物理量測定システム（以下、従来技術という）が知られている。上記従来技術は、測定光が入射される光ファイバに一以上のブラッグ回折格子が形成され、各ブラッグ回折格子からの反射光の波長を検出して各ブラッグ回折格子の位置における温度等の物理量を測定するシステムにおいて、各ブラッグ回折格子からの反射光を、中心波長が微小な間隔の複数波長に分離可能なアレイ導波路回折格子に入射させ、このアレイ導波路回折格子の複数の出力チャンネルにそれぞれ設けられた一對の受光素子による光電流の比の対数に基づいて前記反射光の波長を測定するものである。

【0003】この従来技術では、論文「Wavelength determination of semiconductor lasers: precise but in expensive」(Jan Christian Braasch et.al, Optical Engineering 1995)に記載された波長の決定原理を利用している。上述した文献によれば、図 3 のグラフに示したような波長感度の異なる一對のフォトダイオード（電極  $A_1-C$  間に形成されるダイオードをダイオード  $A_1C$ 、電極  $A_2-C$  間に形成されるダイオードをダイオード  $A_2C$  とする）と高精度ログアンプからなるセンサに単色光を照射した場合、センサの出力  $W$  は数式 1 によって表される。

## 【0004】

## 【数 1】

※以下の積  $\phi(\lambda) S_1(\lambda)$ 、 $\phi(\lambda) S_2(\lambda)$  を半値全幅  $\Delta\lambda$  にわたって積分した値（つまり光電流  $I_1$ 、 $I_2$ ）の比の  $\log$  を取ることで求められる。そして、照射光の出力が所定の範囲内では、照射光の波長ごとに、 $\log(I_1/I_2)$  がほぼ一定になり、そのときの照射光波長は数式 2 で表されることが記載されている。

## 【0006】

## 【数 2】

( $a_0$ 、 $a_1$  は定数 [nm])

ある。つまり、分解能としては  $1/3000$  となる。

【0009】従来技術として挙げた前記物理量測定システムでは、前述した数式 1、数式 2 による波長測定原理を基本としたうえ、この測定原理を微小な波長範囲（例えば 3 nm 以下の範囲）について適用するために、アレイ導波路格子（AWG）を使用している。この AWG は、論文「Wavelength Multiplexer Based on SiO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Arrayed-Waveguide Grating (Takahashi, et.al, Journal of Lightwave Technology Vol.12, No. 6, 1994) 等に記載されているように、所定の曲率半径のアレイ導

50

波路と、その入力側、出力側にそれぞれ形成されたスラブ導波路と、これらのスラブ導波路にそれぞれ連続する複数チャンネルの入力導波路及び出力導波路とを有する構造であり、入力光を1nm以下の分解能で弁別可能な素子である。

【0010】従来技術では、図5に示すごとく、光ファイバ3の長手方向に形成された複数のFBG4に対し、それぞれ重複しないように微小な反射光波長範囲を割り当てておき（一例として、第1のFBGには1500～1503nm、第2のFBGには1503～1506nm、第3のFBGには1506～1509nm、……等）、光源1から光分岐器2、光コネクタ5を経た出射光のFBG4からの反射光をAWG6に入力することにより、中心波長が例えば1nm以下の間隔の複数の波長に分離する。そして、AWG6の隣接する二つの出力導波路（出力チャンネル）から一対のプリアンプ付きフォトダイオード7に光を入射させることにより、微小な波長範囲について前述した数式1、数式2を適用し、高分解能で波長を検出可能としている。

【0011】すなわち、従来技術によれば、各FBG4の位置における温度や歪み等の物理量に対応する波長を検出することができ、これによって温度分布や圧力分布を計測することが可能になっている。なお、図5において8は一対のフォトダイオード7の光電流（前述の $I_1$ 、 $I_2$ に相当）を除算する割算器、9'は波長検出器、10は波長計測のための演算を行うマイクロコンピュータである。

【0012】

$$P(\lambda_{bj}) = K \left[ \varepsilon + \frac{ab\lambda_i\Delta\lambda_a\Delta\lambda_b}{\sqrt{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2}} \exp \left\{ \frac{-4 \ln 2 (\lambda_i - \lambda_{bj})^2}{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2} \right\} \right]$$

【0016】また、他方のフォトダイオードの出力 $P(\lambda_{bj})$ は、数式3における $i$ を $i+1$ に変えた式となる。従って、これらの式の比の対数をとると、数式4※

$$\rho(\lambda_{bj}) = \log \frac{\varepsilon + \frac{ab\lambda_i\Delta\lambda_a\Delta\lambda_b}{\sqrt{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2}} \exp \left\{ \frac{-4 \ln 2 (\lambda_{i+1} - \lambda_{bj})^2}{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2} \right\}}{\varepsilon + \frac{ab\lambda_{i+1}\Delta\lambda_a\Delta\lambda_b}{\sqrt{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2}} \exp \left\{ \frac{-4 \ln 2 (\lambda_i - \lambda_{bj})^2}{\Delta\lambda_a^2 + \Delta\lambda_b^2} \right\}}$$

【0018】ただし、数式3、数式4における $\varepsilon$ は、数式5の通りである。

【0019】

【数5】 $\varepsilon = a o b o \cdot \Delta\lambda_s + a o b \cdot \Delta\lambda_b + b o a \cdot \Delta\lambda_a$

【0020】また、数式3～数式5における各値は以下の通りである。このうちの一部は図6にも示してある。

K：定数

a：AWGのピーク透過率

b：FBGのピーク反射率

\*【発明が解決しようとする課題】図6は、上記従来技術におけるFBG4の反射率及びAWG6の透過率のスペクトルを示す図である。従来では、一対のプリアンプ付きフォトダイオード7ごとに光電流の比演算を行い、その出力の対数を計算して波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ を求めている。ここで、 $j=1, 2, 3, \dots, N$ であり、 $N$ はFBGの数である。

【0013】すなわち、各FBGには前述のごとくその反射波長を測定するためのAWGの出力チャンネル対（プリアンプ付きフォトダイオード7の対）を予め定めてあり、他のFBGの反射帯域の影響を受けないように設計されている。たとえば、図6に示すようにFBG $_j$ の反射帯域はAWGのチャンネル $i$ 及びチャンネル $(i+1)$ の透過帯域のみにラップしてチャンネル $(i+2)$ の透過帯域にはラップせず、また、FBG $_{j+1}$ の反射帯域はAWGのチャンネル $(i+2)$ 及びチャンネル $(i+3)$ の透過帯域のみにラップしてチャンネル $(i+1)$ の透過帯域にはラップしないようになっている。

【0014】このような条件で、 $j$ 番目のFBGの波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ を以下に求めてみる。光ファイバの光損失及び後方散乱は無視できるものとする、一対のプリアンプ付きフォトダイオード7のうち一方のフォトダイオードの出力 $P(\lambda_{bj})$ は、数式3によって表される。

【0015】

【数3】

※を得る。

【0017】

【数4】

a o：AWGの不要なノイズ光となるバイアス透過率

b o：FBGの不要なノイズ光となるバイアス反射率

$\Delta\lambda_a$ ：AWGの半値全幅

$\Delta\lambda_b$ ：FBGの半値全幅

$\Delta\lambda_s$ ：光源の半値全幅

$\lambda_b$ ：FBGの反射中心波長

$\lambda_i$ ：AWGのチャンネル $i$ の透過中心波長

$\lambda_{i+1}$ ：AWGのチャンネル $(i+1)$ の透過中心波長

50 【0021】前述した数式4を図示すると図7のように

なる。つまり、FBGの反射中心波長 $\lambda_{bj}$ に対する波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ の特性が一部非直線状になっていて測定分解能が悪く、波長検出精度を低下させる原因となっていた。これは、数式4において、AWGの不要なノイズ光となるバイアス透過率 $a_0$ やFBGの不要なノイズ光となるバイアス反射率 $b_0$ 等により、 $\epsilon$ がゼロにならず誤差成分として作用するためである。そこで本発明は、上記誤差成分 $\epsilon$ に起因する波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ の非直線性を改善し、測定分解能及び検出精度を向上させるようにした波長計測装置を提供しようとするものである。

#### 【0022】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1記載の発明は、測定光が入射される光ファイバに一以上のブラッグ回折格子が形成され、各ブラッグ回折格子からの反射光の波長を検出して各ブラッグ回折格子の位置における物理量を測定するための波長計測装置であって、各ブラッグ回折格子からの反射光を、中心波長が微小な間隔の複数波長に分離可能なアレイ導波路格子に入射させるとともに、このアレイ導波路格子の複数の出力チャンネルにそれぞれ接続された受光素子を一対ごとに前記ブラッグ回折格子に対応させ、一対の受光素子による出力信号の比の対数に基づいて前記反射光の波長を計測するようにした波長計測装置において、前記アレイ導波路格子の複数の出力チャンネルとは別個に設けられたノイズ光検出出力チャンネルと、この出力チャンネルに接続された受光素子とを備え、前記各ブラッグ回折格子に対応した受光素子対の各々の出力信号から、前記ノイズ光検出出力チャンネルに接続された受光素子の出力信号による誤差成分を差し引いた信号の比の対数に基づいて、前記反射光の波長を計測するもので\*

$$\rho(\lambda_{bj}) = 4 \log 2 \frac{\lambda_{i+1} - \lambda_i}{\Delta \lambda_a^2 + \Delta \lambda_b^2} \left\{ 2 \lambda_{bj} - (\lambda_{i+1} + \lambda_i) \right\}$$

【0027】数式4と数式6との比較から明らかなごとく、本実施形態によれば誤差成分 $\epsilon$ による影響が完全に除去され、FBGの反射中心波長 $\lambda_{bj}$ に対する波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ は図2に示すように直線性が改善されることになる。

#### 【0028】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、FBGの反射中心波長に対する波長測定出力の直線性が改善され、従来よりも測定分解能並びに検出精度を向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態を示す構成図である。

【図2】実施形態におけるFBGの反射中心波長に対する波長測定出力の特性図である。

【図3】従来技術における波長測定原理の説明図である。

\*ある。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】以下、図に沿って本発明の実施形態を説明する。図1は、この実施形態の構成を示すものであり、図5と同一の構成要素には同一の参照符号を付してある。光源1、光分岐器2、光ファイバ3、FBG4、光コネクタ5の構成及び動作と、波長検出器9内のAWG6、プリアンプ付きフォトダイオード7、割算器8の構成及び動作は図5と同様である。

【0024】本実施形態では、AWG6にノイズ光検出用の出力チャンネルを設け、このチャンネルに接続されたプリアンプ付きフォトダイオード11の出力信号がマイクロコンピュータ10に入力されている。これらのノイズ光検出用の出力チャンネル並びにフォトダイオード11は、前述の数式5における $a$ 、 $b$ 、 $a_0$ 、 $b_0$ や半値全幅を検出するためのものである。

【0025】つまり、ノイズ光検出用のフォトダイオード11の出力信号を用いてマイクロコンピュータ10が数式5により前記誤差成分 $\epsilon$ を別途算出し、更に数式3における $K\epsilon$ を求める。なお、AWG6の各チャンネルの中心波長は何れのFBGの中心波長からも十分に離れているものとすれば、数式3における指数関数の項は無視することができる。従って、ノイズ光検出用のフォトダイオード11以外のフォトダイオード7の個々の出力信号から $K\epsilon$ を差し引いた後に、隣接する一対のフォトダイオード7の出力信号の比の対数をとる（前記数式4に相当する演算を行う）ことにより、波長測定出力 $\rho(\lambda_{bj})$ は数式6のようになる。

#### 【0026】

【数6】

【図4】公知の波長測定システムの構成図である。

【図5】従来技術を示す構成図である。

【図6】従来技術におけるFBGの反射率及びAWGの透過率のスペクトルを示す図である。

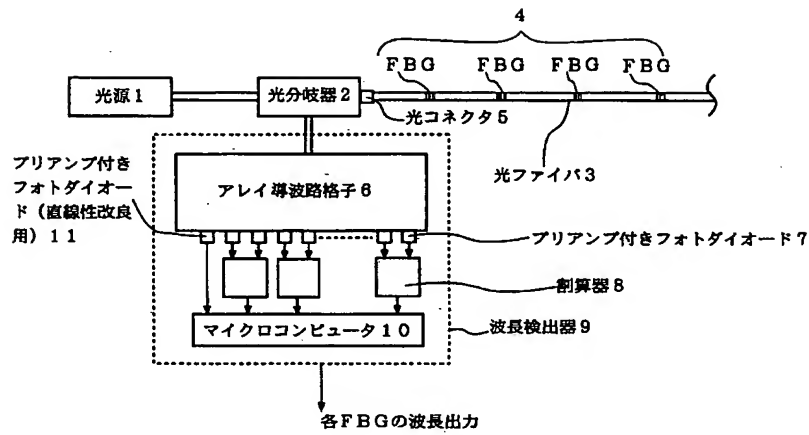
【図7】従来技術におけるFBGの反射中心波長に対する波長測定出力の特性図である。

#### 【符号の説明】

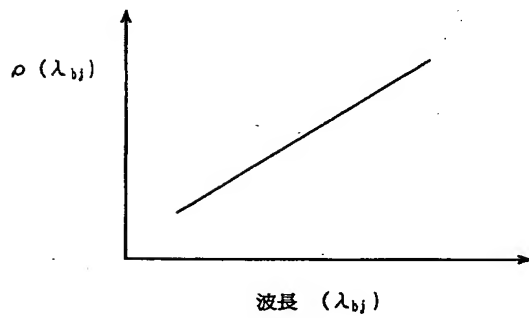
- 1 光源
- 2 光分岐器
- 3 光ファイバ
- 4 FBG（ブラッグ回折格子）
- 5 光コネクタ
- 6 AWG（アレイ導波路格子）
- 7, 11 プリアンプ付きフォトダイオード
- 8 割算器
- 9 波長検出器

## 10 マイクロコンピュータ

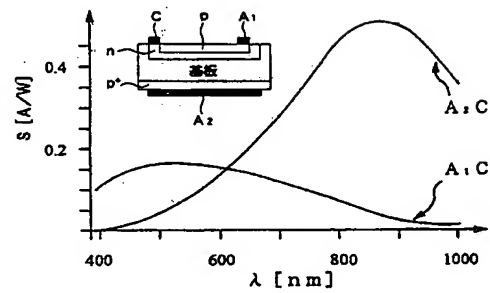
【図1】



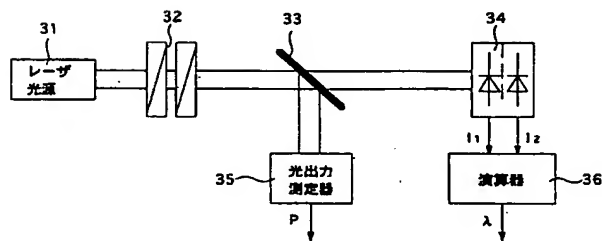
【図2】



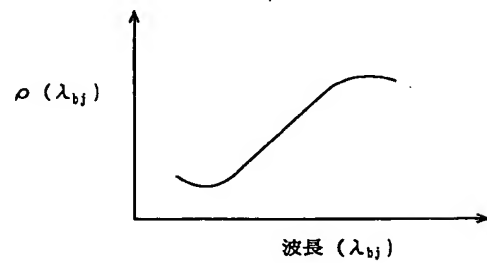
【図3】



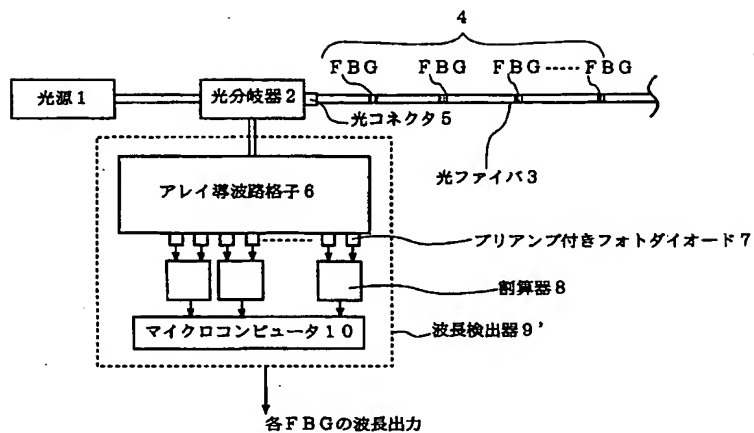
【図4】



【図7】



【図5】



【図6】

